

SIC 有人宇宙学研究センター NewsLetter 2023 年 6 月号 No.18

日本地球惑星科学連合セッション開催報告



日本地球惑星科学連合(JpGU)およびアメリカ地理学連合(AGU)共催の共同セッション「陸域海洋相互作用－惑星スケールの物質輸送」(山敷庸亮(京都大学)、Behera Swadhin(JAMSTEC)、佐々木貴教(京都大学) 升本幸夫(東京大学))が、2023 年 5 月 24 日、幕張メッセにて開催された。本セッションは日本海洋学会と水文水資源学会の共催として「有人宇宙学-宇宙移住のための三つのコアコンセプト」を掲げた二度目の国際学術セッションです。

まずアメリカから SIC 特任教授の Vladimir Airapetian 氏(NASA/GSFC)が、「Magnetic Lives of Young Solar-Like Stars and The Impact of Exoplanets」と題して、スーパーフレアが高頻度で発生する若い太陽型星の状況がどのように実際の太陽型星に影響を及ぼすかについて発表があった。次に山敷 庸亮氏が「惑星移住に関する三つの「核心」コンセプト-コアバイーム、コアテクノロジー、コアソサエティ」について、宇宙移住との関連にて解説を行なった。続いて、宇宙航空研究開発機構(JAXA)の桜井 誠人氏が、有人宇宙探査のための物理化学的生命維持装置[ECLSS]についての解説を行なった。続いて、京都大学の市村周一氏が「ANALYSIS OF THE LIFE SUPPORT SYSTEM AND QUALITY OF LIFE ELEMENTS OF THE CURRENT HUMAN SPACE EXPLORATION」と題して、宇宙空間の物資輸送について、特に QOL のリサイクルの現状を解析した発表を行なった。前半最後には、JAXA の吉川真氏が、「地球-月圏および火星における太陽系小天体の衝突リスク」と題して、地球に比べて特に火星は軌道を交差し、かつ接近する小惑星の数が圧倒的に多いことを示した。

後半のセッションでは、Biosphere 2 の John Adams 氏による「What we are learning from Biosphere 2 about Biosphere and beyond」についての講演があり、Biosphere2 の歴史と今後について紹介があった。次に遠藤雅人氏（東京海洋大学）による宇宙海洋では、ティラピアを中心とした宇宙養殖の研究成果から水棲生物の星間輸送の可能性と課題について示された。次に宮澤泰正氏による「Ocean state forecasting toward the digital twin of the ocean」では、JCOPE における時間軸も含めた 4 次元データ同化を述べ、それによって黒潮の軌跡をより性格に表現時間発展的なデータを同化する技術について述べられた。



さらに、IIT の Roma Varghese 氏により、「The linkage between photosynthetic CO₂ assimilation rates in monsoon Asia and hydroclimate anomalies」と題した研究発表にて地球上の地表プロセスと海洋気候を関連した発表を行なった。次に Behera Swadhin (JAMSTEC)による、「Climate link to heatwaves over Japan」では日本の熱波と遠隔地の SST や他の項目に関するテレコネクションを総括した発表があった。最後に、山本駿（京都大学）による、「京都盆地の水理地質モデル構築と広域地下水流動・熱輸送解析」と題した地下水と熱輸送に関する発表があった。

その後、ポスターセッションにて、植村優香氏らは、「小惑星ベスタにおける人工的な生存圏の構築」について発表を行ない、小惑星ベスタに人工重力施設をつくって生活圏を構築する構想について述べた。次に新原有紗氏は、「How to establish Core-society in the Space」と題して、月面上での社会を構築するための問題を法的観点から述べた。また、藤井咲花氏は、「水を用いた月面構造物における宇宙放射線の遮蔽に関する研究」と題して、月面上でのさまざまな部材による放射線遮蔽数値実験について述べた。さらに三木健司氏は、「Dynamics of pollen-generating environment determined by flowering synchrony」と題して花粉環境のダイナミクスに関する研究を紹介した。セッションには、NASA/GSFC からの若手研究者や、民間宇宙飛行士の稲波氏、その他さまざまな分野の人々が参加し、活発な議論が行われ、宇宙移住のために地球の環境要素をどのように持参するかについても検討が進んだ。SIC 有人宇宙学研究センターは、今年度から JpGU 会場に、京都大学地球惑星科学連合として、理学研究科地球惑星科学専攻、人間環境学研究科、防災研究所、総合

生存学館とともにブースを出展し、VR 展示などとともに住友林業・鹿島建設・DMG 森精機らとの共同研究ブースセミナーで紹介、さらに Lignosat クラウドファンディングや書籍「有人宇宙学—宇宙移住の3つのコアコンセプト」を紹介するなど、大変盛況であった。



(山敷庸亮 記)

宇宙木材研究室学生チーム新メンバー紹介 —全体/MISSION 班—

宇宙木材研究室では 2023 年度の新メンバーの募集が行われました。今年は体育会の部活動やサークルのように大々的に新入生募集を行い、そのなかから選考を経て新メンバーを確定しました。そして木造人工衛星 LignoSat の開発には 13 人の新メンバーが入りました。

5 月 21 日に顔合わせ会を行い、そこで各々が自己紹介を通してチームとしての結束力を高めました。新メンバーには基本的に LignoSat2 号機的设计にかかわ



ってもらうことになるため初号機のフライトモデル設計段階で様々なことを吸収してもらいたいと思います。

新メンバーの活動としてはまずヘプタサットという衛星を組み立ててもらいます。これは衛星全体の構造を理解するために必要なもので、LignoSat の構造にも通じる箇所が多くあります。人工衛星のシステムとして電源供給や通信、コンピュータ制御などがありますが、そのつながりを全体像として把握しておくことで今後の衛星開発においてほかの班との連携が容易になり、今後の活動で非常に有効になります。それに加え、アマチュア無線 3 級の取得も行ってもらいます。この資格を有していなければ LignoSat の運用にかかわることができないため、かなり重要な活動になります。今後もこうした細かい活動に関しては京大宇宙木材プロジェクトの Twitter に掲載していきたいと思いますので [@spaceKUwood](https://twitter.com/spaceKUwood) のフォローもよろしくお願いいたします。

また今回から新メンバー紹介を行っていききたいと思います。まずは私が班長を務める MISSION 班から行います。MISSION 班には工学部地球工学科 2 回生の元井俊介君と工学部工業化学科 1 回生

の水野愛理さんが入ってくれました。元井君は地磁気などに非常に詳しく、MISSION 班では LignoSat の地磁気測定なども行うので大きな活躍に期待です。元井君には現時点では地磁気測定や温度測定などを行う RAB 基板にかかわってもらう予定です。また水野さんは 1 回生であるためこれから専門知識を得ていく段階ではありますが、現時点でも仕事の確認を自ら行うなど非常に意欲があるため、これからの活躍に期待です。そして水野さんにはひずみ測定などを行う MISSION 基板を担当してもらう予定です。まずは前述のヘプタサットの製作やアマチュア無線 3 級の勉強に加えて LignoSat 基礎設計書の読み込みを行ってもらいます。その後各班員が担当する実験や設計などに参加してもらい、MISSION 班としての専門知識をつけてもらう予定です。また今年の MISSION 班は全員がすべての仕事ある程度できるようにするという方針を掲げています。これを実現するためにすべての実験などに参加できるような環境を整え、お互いにフォローしあえるような MISSION 班にしていきたいと考えています。

(豊西悟大 記)

岡山大学惑星物質研究所への ExBAS 試験体輸送

昨年度宇宙曝露試験が終了した木材試験体（ExBAS 試験体）を、5 月 18 日 19 日に総合生存学館が協定を締結している岡山大学惑星物質研究所に輸送しました。京都大学からは農学研究科 村田功二准教授、宇宙ユニット 辻廣智子氏、農学研究科森林科学専攻 生物材料設計学研究室の大学院生 2 名が参加しました。

惑星物質研究所に到着後、まず ExBAS 試験体の目的ならびに現時点での経過を研究所の方々に紹介しました。その後今後の解析の方針や研究の展望について議論が交わされました。世界初の宇宙曝露木材試験体の分析に皆盛り上がりを見せていました。



図 1. EXBAS 経過報告



図 2. 中村特任教授に研究所を案内していただきました

打ち合わせが終了した後、同研究所の中村栄三特任教授に研究所内を案内していただきました。最近では小惑星リュウグウにてアミノ酸の存在を発見した研究所であり、素晴らしい実験装置の数々を見学させていただきました。これらの装置も ExBAS 試験体の解析に使用させていただく予定です。また京都大学から輸送してきた ExBAS 試験体の引き渡しも行いました。

夕方からは同研究所の教員ならびに学生の方々に歓迎パーティーを開催していただきました。研究所の学生には留学生が多く、日本語よりも英語が飛び交うパーティーでした。BBQ やお寿司など手厚いおもてなしをしていただき大変良い時間となりました。



図 3. リュウグウのサンプル見学

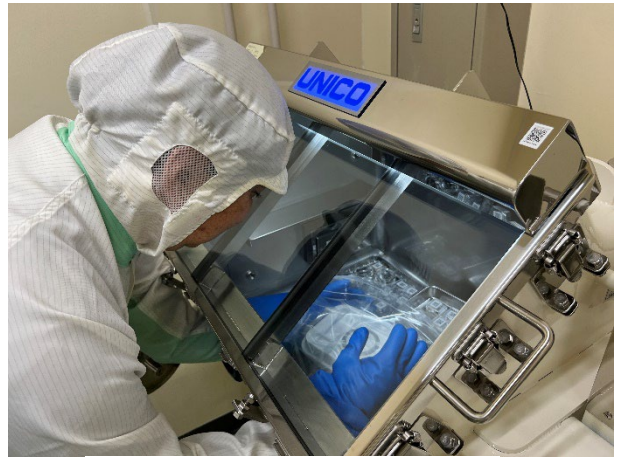


図 4. EXBAS 試験体の引き渡し



図 5. 歓迎パーティー



図 6. BBQ をふるまっていただきました



図 7. 2 日目の打ち合わせ

(三本勇貴 記)



図 8. 研究所正面にて記念撮影

鹿島建設 presents 火星に住もう！ SEASON3 講演報告

SIC 有人宇宙学研究センターとよみうりカルチャーOSAKA の連携講座「火星に住もう！ Season3」(全 6 回) は 5 月 14 日、第 2 回「火星に必要なコアバイオーム (核心生態学) とは？」が読売京都ビル (京都市中京区) で開かれ、SIC 有人宇宙学研究センター長の山敷庸亮・京都大学大学院総合生存学館教授が登壇した。

山敷教授は、「火星は人類にとってサステナブル・マザープラネットになりうるか」と問題提起。火星に液体の水を存在させ、一定の大気を保つために、NASA では火星に磁気フィールドを作り、温室効果による温暖化を行う計画を提案していることを紹介した。

そのうえで、他の惑星に移住する際、地球の生態系の一部を持っていくことが「コアバイオーム」の発想であり、宇宙放射線や微小重力の問題を技術の力で解決する「コアテクノロジー」、あらかじめ社会のルールを決めておく「コアソサエティ」の 3 つのコンセプトがないと人類は生存できないと指摘。火星に持ち込むミニ生態系のあり方や、惑星間の移動手段となる「銀河鉄道」構想について、動画を交えて解説した。

オンライン視聴を含め、京都市立堀川高校の生徒など約 40 人が受講した。次回の講座は 6 月 18 日 (13:00～14:30、読売京都ビル)、「宇宙飛行士を宇宙線被ばくから適切に守る～有人火星探査の被ばくリスクはどのくらい？～」をテーマに日本原子力研究開発機構研究フェローの佐藤達彦氏が講師を務める。申し込みはよみうりカルチャーOSAKA の HP(<https://www.ync.ne.jp/osaka/mananto/>) から。



(記事、写真：読売新聞社 冬木氏提供)

低圧下樹木育成プロジェクト紹介

樹木育成チームはこれまで 20 回にわたって低圧下ポプラ育成実験を行ってきましたが、これらの結果から、育成チャンバー内が低圧条件であるほどポプラの葉の LMA (Leaf Mass par Area、葉の重量/葉面積) が大きくなる傾向があることがわかってきました。このような差異が生じる原因を考えるにあたって、まず植物界全体においての LMA の変動が起こる理由を理解するため、学生チームゼミでは LMA に関する先行研究をまとめた総説 (Hendrik Poorter, Ülo Niinemets, Lourens Poorter, Ian J.

Wright and Rafael Villar Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): a meta-analysis New Phytologist 182: 565-568, 2009)を取り上げて学習しました。

この総説は、LMA に関する既報の幅広い研究論文のデータを集め、メタ解析した結果を示したものです。水生、シダ類、落葉樹、多肉植物など様々な機能群に属する様々な生息地の植物種について、まず野外で観察された種間の LMA のばらつきについて考察し、またこれらの固有のばらつきが機能群間で観察された違いをどの程度説明できるのか分析しています。ここから、自然界の植物において LMA は種により 100 倍以上の差があり、この変動は、機能群間の差異として一部説明できます（常緑樹種の LMA が最も高い）が、ほとんどは機能群またはバイオーム内での変動であると述べました。また、葉の解剖学的特徴や化学組成の観点からも LMA のばらつきを分析しています。制御された同じ環境で栽培した場合、多肉植物や常緑樹、多年草、または成長の遅い種で本質的に LMA が高くなりますが、例えば常緑樹と落葉樹での LMA の違いは、解剖学的には、常緑樹で葉の面積あたりの体積（葉の厚み）が大きいことに起因していました。制御された条件下での実験から作成された応答曲線によると、LMA は特定の環境要因によっては強くあるいは中程度に変化し、その他の条件ではほとんど変化せず、これらの条件下での LMA の可塑性は、機能グループによって異なりました。LMA の生理的な制御については情報が限られていてまだ解明されていませんが、LMA とそれに関連する一連の形質の変異がもたらす生態学的な影響は強く、環境における種の適合性を決定する重要な要因で、様々な生態系プロセスに影響を与えると述べています。

低圧下ポプラ育成実験に関連させれば、上記のような観点の中で、まずは LMA の変化に影響を与える環境要因という視点から本実験の結果を捉えることは重要と考えられます。LMA と 12 の環境要因との関係 (図) から、12 の環境要因のうち 4 つの環境要因が LMA との間に関係が見られることが分かります。つまり日積算光放射強度 (DPI)、CO₂ 濃度、水の利用可能割合、気温です。この総説ならびにこれ以後の論文で低圧、低重力（微小重力）と LMA の関係を調べた研究はありません。このポプラ育成実験は低圧条件の LMA への影響に関して初めての知見を提供することになるでしょう。

(遠藤早緒里・池田武文 記)

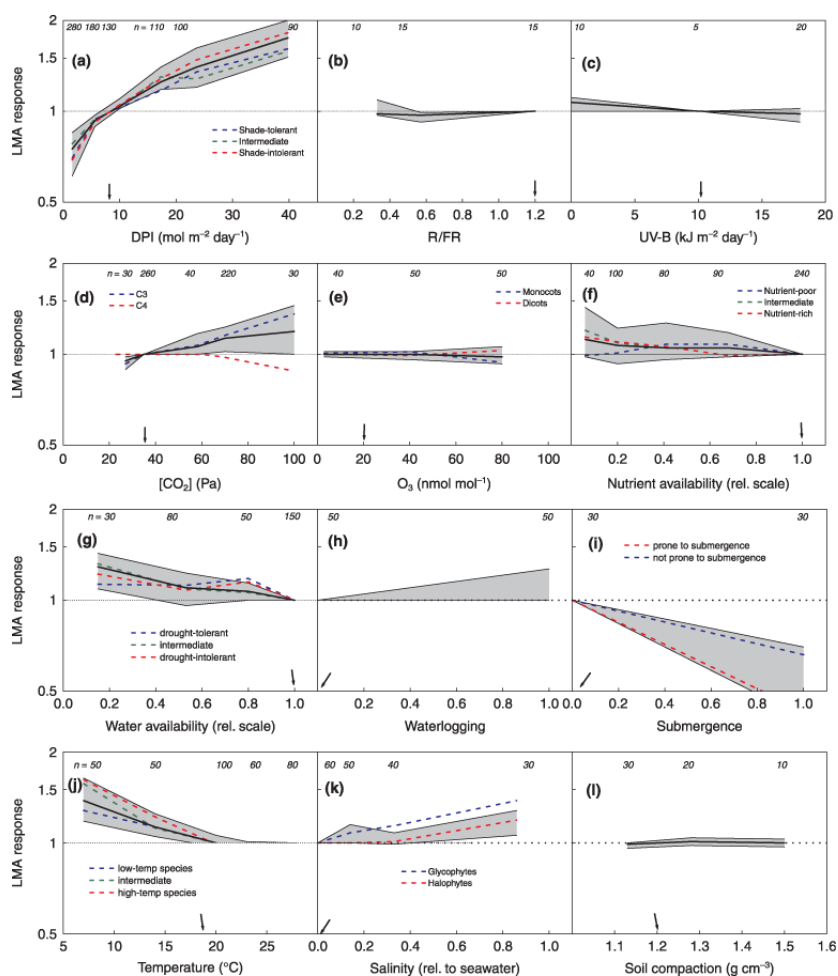


図-様々な環境条件下で栽培した植物の LMA の応答の特徴

LignoSat 紹介

超小型木造人工衛星の開発と今後の展望

工学部電気電子工学科 4 回生

LignoSat 学生リーダー 菊川祐樹

超小型木造人工衛星（LignoSat）とは、学生によって開発が進められている、人工衛星バスシステムにおける構体系を完全に木造化することを想定した世界初の衛星開発プロジェクトです。木材の主成分は炭素・水素・酸素からなる天然高分子であり、大気圏再突入時に有害な金属酸化物の粒子を発生させないため、宇宙・成層圏・海洋の汚染防止に繋がる次世代の宇宙開発資源であると期待されます。また、広い温度範囲において物性が非常に安定しているといった特徴や、電磁波を遮蔽しないといった物理的性質から、木材は宇宙という極限環境下で運用される人工衛星のシステム構築に関する新たな可能性を切り拓く材料であると考えられます。

本研究開発は、5 つのグループ（構体系、電源系、通信系、コマンド&データ処理系、ミッション系）により構成された学生開発チームを中心として展開されており、木材を人工衛星の構造材料として成立させるための様々な技術的課題の解決に日々取り組んでいます。以下各班の開発担当です。

コマンド&データ処理系を担当する CDH 班では、衛星内のデータ通信/処理/管理システムを設計し、各電子基板及びソフトウェアの開発を行います。各班の開発内容が衛星全体の仕様要求に合致するように電氣的な調整を行うため、衛星開発の全体管理も行います。電源系を担当する EPS 班では、内部のバッテリーや太陽光パネル、及び電源系に関連する各種基板の開発を担当しています。バッテリーのスクリーニング試験や、太陽光パネルの衛星表面への貼り付け作業も行なっています。通信系を担当する COMM 班では、衛星-地上間の通信システム開発を行っています。通信アンテナやそれに関わる LignoSat 基板、使用するアマチュア無線帯周波数の国際調整、地上通信局の整備などを行なっています。ミッション系を担当する MISSION 班では、木造構体のひずみ測定、衛星内部の温度測定及び地磁気測定システムの開発を行っています。特に、宇宙での木材使用時のひずみデータ測定は、世界初の試みとなります。構体系を担当する STRUC 班は、主に木造構体を含む各種コンポーネントの設計開発を担当し、3D モデルや設計図面作成を行っています。また、組立手順の考案や構体の構造解析・評価も担当します。

これら 5 班を中心とし、宇宙が木材に及ぼす物理化学的影響を木造人工衛星という手段で明らかにし、衛星の打ち上げのために各種試験を執り行います。3 月には EM を使用した熱真空試験を九州工業大学にて実施し、無事木材の熱遮断性、基板の動作正常性を確認しました。図 1 がその時の様子と得られた熱応答のグラフです。学部の温度変化に対して十分な保温性と冷却性を持っており、宇宙環境下でも木材が構体として使えることに加え、衛星としての機能も正常に動作することがこの試験により証明されました。



図 1 学生開発チーム

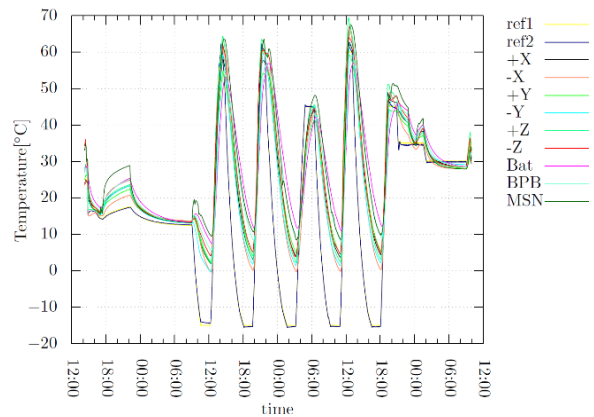
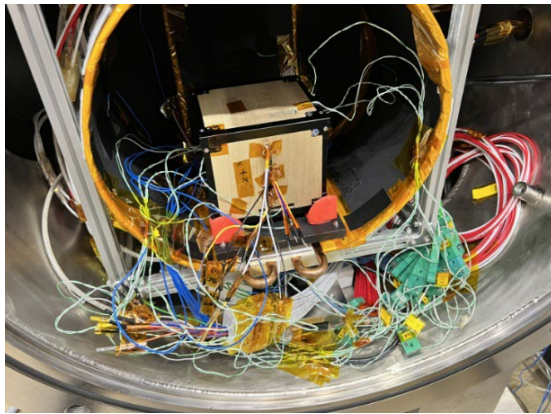


図 2 熱真空試験の様子（左）と木造構体の熱応答（右）

また地上局整備も進み、4 月に電波強度を確定させる電波暗室試験、5 月に改良し新設計されたアルミフレームと木造構体の強度を確認する振動試験を九州工業大学で実施し、ともに JAXA の要求を満たす結果を得ることができました。

具体的な作業スケジュールに関して 5, 6 月は 7 月に FM 用の基板をすべてそろえ、FM 用の衛星試験を開始できるように、EM 基板の最終調整、発注を進めております。また開発体制に関して、各班長が交代となり新体制での開発が進められております、メンバーに関しても 5 月より新たに新メンバー13 人を迎え入れ、現在は衛星開発に必要な基本知識を各新班長の下で蓄えてもらっております。新メンバーには LignoSat1 号機の各種試験の手伝いを経て LignoSat2 号機製作の中心メンバーになってもらう予定です。

今後は来年 2 月の打ち上げを目指して、7 月から JAXA の安全審査に関する試験を開始、8 月に九州工業大学にて衛星試験を完了後、報告書を 8 月末に JAXA に提出、宇宙活動法に関する文書をまとめ、9 月末の衛星引き渡しに向け、全体試験を再度行う予定。引き渡し後も衛星運用の調整やデータ解析方法の模索を進め 2 月の衛星運用に取り掛かれるように環境を整えます。また新メンバーを中心として、LignoSat 2 号機の基礎設計を並行して行います。開発チーム一同宇宙の木材利用達成に向け邁進してまいります。

（菊川祐樹 記）

研究紹介

木材の宇宙曝露試験の経過報告

京都大学農学研究科 村田功二

（1）実験概要

宇宙木材プロジェクトでは 2023 年度に木造人工衛星（LignoSat）の打ち上げを計画している。投入を計画している地球低軌道（LEO）は高真空、銀河宇宙線、太陽エネルギー粒子、真空紫外線や原子状酸素などの影響で材料が劣化する可能性がある。そのような環境で木材がどのように劣化するのかわを確認するため、木材の宇宙曝露実験を実施した（図 1）。

2022 年 2 月 20 日に打ち上げられたシグナス補給船運用 17 号機（NG-17）で簡易材料曝露

実験プラント(ExBAS)は国際宇宙ステーション (ISS)まで運ばれた(図2)。木材試験体を搭載した ExBAS は中型曝露実験アダプタ(i-SEEP)に取り付けられ、同年3月4日にロボットアームによって船外プラットフォームに運ばれて宇宙曝露試験が開始された(図3)。

宇宙曝露試験を実施するまでにいくつかの準備が必要だった。たとえば、高分子材料が真空環境におかれるとガスが発生して再凝集する可能性がある。そこであらかじめバークアウト処理(105℃・24時間)を施した3種類の木材試験体のアウトガス試験を実施した。加熱温度125℃、真空度 7×10^{-3} Pa以下の環境で24時間保持したときの重量損失比(TML)と、25℃に保持した冷却板で測定した再凝集物質重量比(CVCM)を測定した。基準ではTML1.0%以下、CVCM0.1%とされるが、実験に供したサンプルではCVCMは0.1%を下回っていたが、TMLは5~6%だった。しかし、23℃・50%RHの環境で24時間保持して測定した再吸水量比(WVR)が約5%あり、TMLの大半は水であると推測されたため揮発成分は問題ないとされた。



図1 木材曝露試験体
©京都大学、©Space BD

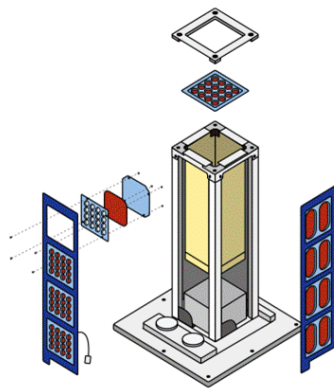


図2 ExBASの構造 ©Space BD

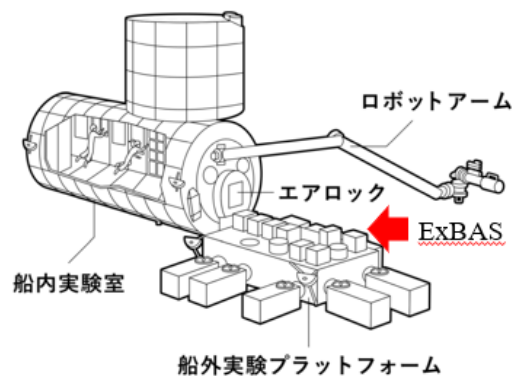


図3 ISS きぼう・船外実験プラットフォーム ©Space BD

今回の宇宙曝露試験の最も重要な目的は LignoSat に使用する木材樹種を選択である。密度の異なる3樹種(ホオノキ、ヤマザクラ、ダケカンバ)を選択し、それらの劣化の様子から樹種選択に必要な情報を得ようと考えた。LignoSat の投入を予定している低軌道(400km 上空)の気圧は非常に低いが、大気の約8割は反応性の高い原子状酸素(AO)とされている。宇宙機は秒速8kmで飛行するため、有機材料がAOと衝突した場合は酸化によって揮発性の物質となり表層の消失が予想される。樹種による重量損失の違いからAOの影響を評価し、樹種選択に役立てたいと考えた。また、宇宙放射線による材料の劣化も予想される。これまで文献調査と地上でのガンマ線照射試験を実施してきた。文献によるとISSの船外では約440日間で0.4Gyの放射線量が測定された。コバルト60ガンマ線照射装置(京都大学)で木材のガンマ線照射試験実施した結果、100kGy未満では結晶構造や強度に有意な変化は観察されなかった。1年程度の地球低軌道での曝露では、木材への宇宙放射線の影響は軽微であると予想される。

木材宇宙曝露試験体(ExBAS)は2022年12月23日に若田光一宇宙飛行士によってISS船内に回収され、2023年1月11日にドラゴン補給船26号機(SpX-26)に搭載されてフロリダ半島沖に着水した。3月27日にJAXAで試験体が引き渡された。まずは重量測定と表面の変化を観察

し、試験体には重大な劣化がないことを確認した。厳密には宇宙曝露された木材試験体では細胞壁の結晶構造の変化や微量元素の放射化などが考えられ、今後解析を進めたい。

(2) ExBAS 試料マクロ分析結果

(i) 外観観察

JAXA から引き渡された宇宙曝露後の試験体と、打ち上げ前の試験体の比較を図 4 に示す。目視では木材の表面に劣化は確認できなかった。

(ii) 質量分析

地球低軌道 (LEO)での曝露試験による有機材料の表面劣化について、最も心配されるのが真空紫外線 (VUV)や原子状酸素 (AO)である。特に AO による浸食 (Erosion)では重量減少が予想される。表 1 は木材試験体の曝露前後重量変化を示す。含水率がそろっていないために直接的な樹種間の比較は難しかった。ポリイミド樹脂で被覆した試験体の含水率を基準にして宇宙空間に曝露した試験体の全乾重量を予測した。試験体の乾燥重量の変化 (ΔW_0)を表 1 に示す。各樹種ともに重量変化はごくわずかで樹種間の違いはほぼないと言える。

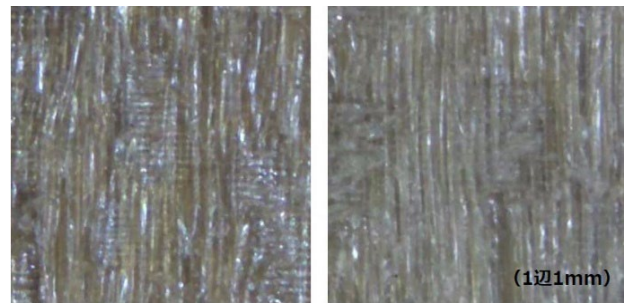


図 4 宇宙曝露後木材試験体(ホオノキ)拡大写真
左：宇宙曝露試験体 右：宇宙未曝露試験体

(3)木造人工衛星に使用する樹種の決定

宇宙曝露試験の結果から、木材の約 300 日間低軌道に曝露しても重大な劣化は生じないことが確認された。2018 年から継続している地上での真空曝露試験では寸法安定性では 3 樹種に大きな違いは確認されていない。人工衛星では重さに制限があるので構体の材料にはより軽いものが望ましい。また、密度が小さいと切削が容易で精度の高い加工が可能である。曝露実験に供した樹種の密度は、ホオノキ：445 kg/m³、ヤマザクラ：594 kg/m³、ダケカンバ：799 kg/m³であった。打ち上げ時の振動に耐えるために割れにくさも重要である。木材の割れにくさの指標に「衝撃曲げ吸収エネルギー」というのがあり、ホオノキ：11 J/cm²、ヤマザクラ：8 J/cm²、ダケカンバ：10 J/cm² (マカバ)とされる(出典：木の大百科)。密度や割れにくさの点から、木造人工衛星の構体にはホオノキを使用することとなった。

表 1 宇宙曝露試験体の重量変化

樹種	状態	乾燥重量 (g)	曝露後重量* W(g)	ΔW_0 (g)
ホオノキ	カプトンシート被覆	1.014	1.014	0
	宇宙曝露	0.930	0.928	-0.002
ヤマザクラ	カプトンシート被覆	1.309	1.309	0
	宇宙曝露	1.260	1.261	0.001
ダケカンバ	カプトンシート被覆	1.701	1.701	0
	宇宙曝露	1.682	1.683	0.001

* 帰還輸送時に含水率変動があったためにカプトンシート被覆を基準に補正

有人宇宙学

宇宙移住のための3つのコアコンセプト

山敷庸亮 [編]

定価：本体 2,900 円 (10% 税込 3,190 円)

A5 判 並製 320 頁 ISBN978-4-8140-0494-2

2023 年 7 月中旬発売予定

月再上陸前夜！ 宇宙居住に必須の要素は何か



CONTENTS

Part 1 宇宙移住に向けての序論

- Chapter 1 宇宙移住と3つのコア山敷庸亮
Chapter 2 有人宇宙学土井隆雄
Chapter 3 地球の特殊性から考える宇宙移住の条件 佐々木貴教
Chapter 4 宇宙での居住可能性を探究する科学稲富裕光

Part 2 コアバイオーム

- Chapter 1 宇宙海洋と宇宙養殖 遠藤雅人・益田玲爾・山敷庸亮
Chapter 2 宇宙森林学村田功二・檀浦正子・池田武文
Chapter 3 空気再生・水再生・廃棄物処理桜井誠人
Chapter 4 宇宙空間に生態系を創造する小林和也

Part 3 コアテクノロジー

- Chapter 1 人工重力と月面・火星での居住施設大野琢也
Chapter 2 宇宙での循環システム構築市村周一
Chapter 3 資源・エネルギーその場利用後藤琢也
Chapter 4 宇宙食二川 健

Part 4 コアソサエティ

- Chapter 1 宇宙法青木節子
Chapter 2 宇宙医療寺田昌弘
Chapter 3 宇宙観光一般社団法人宇宙ツーリズム推進協議会
.....山崎直子, 縣秀彦, 秋山演亮, 荒井誠

2022年にアルテミス号の打ち上げが成功し、月面社会実現への期待が高まる昨今だが、現実には地球外での生活を考えたとき、喫緊の課題は何だろうか。閉鎖空間で人類を支える自然資本(バイオーム)の確保、それを宇宙に持参し維持する技術、そして宇宙での社会の在り方——3つのコア概念に基づき、研究の最先端を紹介する。



土井隆雄
宇宙飛行士

地球に生まれた生命がついに宇宙に進出する時が来た！それは、地球生命の偉大な功績である。宇宙に生まれた生命の果たすべき役割は何か。それは、宇宙に生命を広げることではないのか。人類の宇宙展開には、すべての生命の期待が込められている！

宇宙に移住環境を構築するためには、あらゆる叡智を結びつける必要があり、その果敢な挑戦に挑んだのが本著である。その試みは、「宇宙船地球号」の概念をも掘り下げ、かけがえない地球を持続可能にしていく示唆にもなるだろう。



山崎直子
宇宙飛行士

購入申込書

FAX 075-761-6190

有人宇宙学	本体価格	ご注文数
ISBN 978-4-8140-0494-2	2,900 円 + 税	冊
	(税込 3190 円)	

ご購入方法のご案内

1. 本申込書をFAXまたは郵送で小会宛お送り下さい。到着後1～4営業日以内に(もしくは発売次第)発送致します。
2. 小会webでも購入できます。国内配送無料。



<https://www.kyoto-up.or.jp/books/9784814004942.html>

公費、郵便振替、銀行振込、クレジットカード、等、各種お支払い方法に対応しています。

3. 本書は全国の書店、大学生協、ネット書店でもご注文いただけます。

書籍代金計	
消費税	
送料	
合計	

●規程送料 (2023 年 5 月現在)
・国内配送
本体価格計 2500 円未満：380 円
2500 円以上 1 万円未満：480 円
1 万円以上および京大生協・無料
・海外配送 航空便書留相当送料実費
●消費税・・・10%

一般社団法人 京都大学学術出版会 営業室

〒606-8315 京都市左京区吉田近衛町 69 京都大学吉田南構内

TEL 075-761-6182 FAX 075-761-6190

URL <http://www.kyoto-up.or.jp/> Email sales@kyoto-up.or.jp

お名前
ご所属
お届け先ご住所 〒
TEL
E-mail
お支払い方法 選択 1 私費 ・ 公費
お支払い方法 選択 2
・クレジットカード
オンライン決済をメールでご案内致します。
・郵便振替
振替手数料小会負担の振替用紙を書籍と一緒に送ります。
その他の諸手数料はご負担ください。コンビニ利用不可。
・銀行振込
振込手数料はお支払い者負担とさせていただきます。

京都大学 SIC 有人宇宙学研究センター
<https://space.innovationkyoto.org/>

〒606-8501 京都市左京区吉田本町 吉田キャンパス本部構内 総合研究 16 号館 208 号室

編集人：宇宙木材研究室 三本勇貴、豊西悟大、山本陽大

Tel: 075-753-5129 Email: spacewood@mail2.adm.kyoto-u.ac.jp

SIC 有人宇宙学研究センター Newsletter No.18

2023 年 6 月 1 日発行